



НОСОВСЬКИЙ
Анатолій Володимирович — академік НАН України, директор Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Доповідь на науковій сесії Загальних зборів НАН України 17 лютого 2022 року

Ядерна енергетика відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної незалежності України, тому є очевидною необхідність впровадження програми будівництва нових ядерних енергоблоків. При формуванні стратегії розвитку ядерної енергетики України прийнятним є вибір технології легководних реакторів великої потужності AP1000, однак цей вибір потребує техніко-економічного обґрунтування та проведення відповідних заходів.

Ядерна енергетика сьогодні — надійне, стає і сучасне джерело електроенергії і один з чинників досягнення цілей сталого розвитку. Атомні електростанції, виробляючи конкурентоспроможну енергію, посідають важливе місце в енергетичному балансі багатьох розвинених країн. За класифікацією Європейської комісії ядерну енергетику віднесено до чистих низьковуглецевих джерел енергії.

Головними критеріями експлуатації енергоблоків АЕС є безпека й економічна ефективність, і саме в цій площині інформація про ядерну енергетику доводиться до суспільства. Однак цього замало. Потрібно ширше висвітлювати й інші соціально важливі складові, які охоплюють не лише технічні й економічні фактори, а й екологічні та інші аспекти, які відповідають загальнолюдським цінностям.

Якщо у світі середній показник викидів CO₂ в енергетиці становить 475 г/кВт-год, то ядерна енергетика України в 2021 р. забезпечила непотрапляння в навколишнє середовище більш як 40 млн т CO₂ (приблизно по 1000 кг на одного громадянина). І це дуже добре! Проте є досі невирішена проблема, з якою переважно й пов'язане негативне ставлення суспільства до розвитку ядерної енергетики, — поводження з радіоактивними відходами і відпрацьованим ядерним паливом.

Реальні рівні газоаерозольних викидів ядерних енергоблоків значно нижчі за встановлені для кожної АЕС межі викидів. Сумарні індекси газоаерозольних викидів у навколишнє середовище за основними складовими викидів (інертні радіо-

активні гази, радіонукліди йоду і довгоіснуючі нукліди) становлять менш як 1 %, а сумарні індекси скидів рідких радіоактивних речовин — менше 2 %. Вміст радіоактивних речовин у воді поверхневих водойм та в атмосферному повітрі населених пунктів у зоні впливу українських АЕС перебуває на рівні «нульового фону». Отже, за нормальної безаварійної роботи АЕС викиди радіоактивних речовин істотно менші за припустимі рівні.

При експлуатації АЕС утворюються також тверді та рідкі радіоактивні відходи. Радянські проекти атомних станцій не передбачали наявності установок поводження з радіоактивними відходами (РАВ) до передання їх на захоронення, а тому розроблення таких систем є нагальною потребою. З цією метою на всіх АЕС України створюють комплекси з переробки радіоактивних відходів для приведення системи поводження з РАВ у відповідність до сучасних вимог.

Що стосується питання поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП), Україна намагається вирішувати його згідно з міжнародними стандартами. Так, ВЯП Запорізької АЕС зберігається у вентилязованих металобетонних контейнерах на майданчику пристанційного сховища «сухого» типу. На майданчику Чорнобильської АЕС у 2021 р. було введено у промислову експлуатацію сховище «сухого» типу для відпрацьованого ядерного палива реакторів РБМК (рис. 1).

Будівництво та введення в експлуатацію централізованого сховища відпрацьованого палива «сухого» типу в Чорнобильській зоні відчуження уможливить безпечне зберігання ВЯП АЕС, що працюють в Україні. У середині лютого 2022 р. завершилися «холодні» випробування систем та обладнання. Планується, що у вересні 2022 р. сховище прийме перші контейнери з ВЯП (рис. 2).

Щодо сховища для високоактивних відходів переробки ВЯП, які повертаються з РФ в Україну, то його будівництво на майданчику комплексу «Вектор» в Чорнобильській зоні відчуження було передбачено Загальнодержавною цільовою екологічною програмою поводжен-



Рис. 1. СВЯП-2 — сховище відпрацьованого ядерного палива реакторів РБМК на майданчику Чорнобильської АЕС



Рис. 2. Централізоване сховище ВЯП реакторів ВВЕР

ня з радіоактивними відходами, згідно з якою сховище мало бути введено в експлуатацію ще у 2013 р. Однак станом на кінець 2021 р. будівництво не було розпочато. З огляду на строки спорудження сховища високоактивних відходів (три роки), повернення з РФ осклованих відходів може відбутися не раніше 2025 р., що

неминуче призведе до порушення Україною взятих на себе контрактних зобов'язань.

Радіоактивні відходи переробки ВЯП мають надходити до сховищ проміжного зберігання з подальшим їх захороненням у глибоких геологічних формаціях. Проте такого сховища в Україні поки що немає.

У 2021 р. завершено проєкт з розроблення національного плану геологічного захоронення радіоактивних відходів в Україні та графіка його реалізації. Роботи зі створення дорожньої карти проведено за фінансової підтримки Європейського Союзу. Зараз усі підготовлені матеріали перебувають на розгляді у відповідних органах державного управління.

Паралельно із заходами щодо підвищення рівня безпеки енергоблоків діючих АЕС деякі країни продовжують розвивати атомну енергетику. Так, лише у 2021 р. розпочато будівництво 9 нових ядерних енергоблоків, а загалом на сьогодні в 19 країнах світу на стадії будівництва перебувають 52 енергоблоки АЕС.

В Україні прийнято Енергетичну стратегію України на період до 2035 р., яка передбачає збільшення виробництва електроенергії на атомних електростанціях шляхом подовження термінів експлуатації діючих АЕС і будівництва нових ядерних енергоблоків. Станом на 2022 р. в Україні на 4 АЕС експлуатуються 15 енергоблоків, з яких 12 (80 %) вже відпрацювали проєктний 30-річний термін експлуатації, а отже, їх експлуатація відбувається у понадпроєктні терміни.

Тому з позицій як екологічної, так і економічної політики України оптимальним рішенням на майбутнє є поступове заміщення енергоблоків, які вичерпали проєктний ресурс, новими сучасними енергоблоками. Це дозволить підтримувати частку АЕС в енергобалансі України, а також сприятиме виконанню її зобов'язань щодо зростання частки низьковуглецевих технологій в енергетиці. Однак для реалізації цього завдання потрібно прийняти програму будівництва нових ядерних енергоблоків в Україні. Проте після пуску в 2004 р. двох енергетичних реакторів на Хмельницькій і Рівненській АЕС будівництво ядерних енер-

гоблоків в Україні не здійснювалося, що призвело до практичної втрати спроможності спорудження нових АЕС.

Крім того, протягом багатьох років Україна не може визначитися з перспективами будівництва новітніх ядерних установок, які в майбутньому можуть замінити енергоблоки, що будуть зняті з експлуатації. Як перспективні реактори періодично розглядають або канадські реактори CANDU з важководним теплоносієм, або російські ВВЕР, або корейські та китайські проєкти, а також малі модульні реактори (ММР). Однак Україні потрібно нарешті визначитися з перспективною реакторною технологією.

Погляди окремих фахівців на шляхи розв'язання енергетичних проблем України за допомогою технологій ММР не мають належного техніко-економічного і наукового обґрунтування, а також не підтверджені необхідною апробацією на практиці, оскільки у світі такі реактори поки що перебувають на стадії розроблення.

Для обґрунтування вибору типу перспективної реакторної установки для АЕС України необхідно розробити наукові і техніко-економічні основи. Оптимізація вибору має здійснюватися за різними показниками, серед яких насамперед варто виокремити питання безпеки, техніко-економічні характеристики, вимоги до конструкційних та інших матеріалів, будівельних конструкцій тощо. І при цьому дуже важливо врахувати можливість виробництва необхідного обладнання для АЕС на підприємствах України, щоб не закуповувати його втридорога в РФ (як, наприклад, це відбувається із запчастинами для дизель-генераторів). Соромно за країну, яка має високотехнологічні підприємства, будує космічні ракети, літаки, але не може зробити запчастини для дизелів, які проєктувалися в 60-х роках минулого століття.

Нарешті, у 2021 р., під час візиту Президента України Володимира Зеленського до Сполучених Штатів Америки підписано меморандум про співпрацю з американською компанією Westinghouse Electric (рис. 3), який передбачає спільне з НАЕК «Енергоатом» бу-

дівництво та розміщення в Україні АЕС з реакторами AP1000. 22 листопада 2021 р. НАЕК «Енергоатом» і компанія Westinghouse підписали угоду щодо будівництва за технологією AP1000 двох нових енергоблоків на майданчику Хмельницької АЕС.

Станом на початок 2022 р. серед проєктів реакторних установок, що належать до покоління III+, реакторна установка AP1000 компанії Westinghouse є найбільш привабливою для енергетики України з багатьох причин, а саме:

1) реактор AP1000 ліцензовано в США, Канаді та деяких інших країнах;

2) чотири енергоблоки з реактором AP1000 вже понад 4 роки експлуатуються на двох АЕС у Китаї (Sanmen-1, 2 (рис. 4), Haiyang-1, 2);

3) у США на АЕС Vogtle здійснюється будівництво двох енергоблоків з реакторами AP1000; фізичний пуск 1-го енергоблока заплановано на 2022 р.;

4) економічні показники експлуатації AP1000 у Китаї є досить високими: коефіцієнт використання встановленої потужності лежить у діапазоні 90–99 %, що є одним з найкращих показників серед АЕС світу (економічні показники інших проєктів з реакторами нового покоління не є такими привабливими);

5) у конструкції AP1000 порівняно з іншими проєктами істотно зменшено кількість компонентів, зокрема трубопроводів (на 80 %), кабелів (на 85 %), клапанів (на 50 %), насосів (на 35 %), електроарматури тощо.

Втім, реакторні установки AP1000 мають і низку недоліків:

1) відомо про проблеми з головними циркуляційними насосами (ГЦН) — у 2019 р. на АЕС Sanmen-2 відмовив один з ГЦН, для заміни якого знадобився майже рік;

2) на перших шести енергоблоках, які вже практично побудовано, терміни будівництва значно перевищили проєктні (4 роки); наприклад, середні строки будівництва енергоблоків з AP1000 в Китаї становили 8–9 років; у США енергоблоки з AP1000 також споруджуються вже понад 8 років;

3) висока вартість будівництва — на кінець 2021 р. загальна вартість будівництва двох



Рис. 3. Підписання меморандуму про співпрацю з американською компанією Westinghouse Electric



Рис. 4. Енергоблоки з реактором AP1000 на АЕС Sanmen у Китаї

енергоблоків з AP1000 на АЕС Vogtle вже перевищила \$20 млрд;

4) логістичні питання, пов'язані з доставкою на майданчик АЕС великогабаритних конструкцій та обладнання, — діаметр корпусу реактора AP1000 в районі патрубків становить ~5 м, а діаметр парогенератора ~6 м. Тому традиційна схема перевезення обладнання залізницею є неможливою, і для майданчиків Хмельницької, Рівненської та Південноукраїнської АЕС потрібно вирішувати проблему доставки автотранспортом на великі відстані.

Отже, загалом можна погодитися, що технологія легководних реакторів великої потужності AP1000 може бути визначена як пріори-

тетна, але цей вибір ґрунтується на експертних оцінках, отриманих з використанням методу багатокритеріального аналізу безпеки. А до експертних оцінок завжди є багато питань. Науковці Інституту проблем безпеки АЕС НАН України мають досвід не лише у застосуванні методу багатокритеріального аналізу, а й у виконанні практичних робіт з розроблення пристроїв для реакторів AP1000, які українські науковці здійснювали для китайських АЕС, а також у використанні нових видів бетонних сумішей для біологічного захисту. Сподіваємося, що досвід наукових установ НАН України буде враховано при будівництві нових ядерних енергоблоків.

У січні 2021 р. НАЕК «Енергоатом» дав окреме доручення щодо підготовки пропозицій стосовно реалізації проекту «Створення українського енергоблока АЕС» із зазначенням першочергових завдань з підготовки до спорудження нових енергоблоків АЕС з максимальною локалізацією виробництва в Україні. Шкода, що це доручення запізнилося років на 20, тому що за цей час Україна втратила будівельників, монтажників, налагоджувальників обладнання та інших фахівців з будівництва АЕС, які покинули країну в пошуках кращої долі.

Використання та розвиток ядерної енергії можливі лише завдяки науково-технічному прогресу. Прикро це говорити, але в Україні майже нічого не зроблено для сприяння інноваційній діяльності в ядерній галузі та підняття її на відповідний рівень. Поки що вся «інноваційна» діяльність, на жаль, зводиться до закупівлі за кордоном далеко не завжди прогресивних технологій і обладнання. В результаті маємо знищення національних наукових шкіл, занепад наукових інституцій.

Китай уже набув певного досвіду при спорудженні чотирьох енергоблоків за технологією AP1000, і Україні варто скористатися ним. Наприклад, середній рівень локалізації при будівництві у Китаї енергоблоків AP1000 становив ~55 %. При цьому на першому з чотирьох енер-

гоблоків Sanmen-1 рівень локалізації — ~25 %, а на четвертому Haiyang-2 — вже майже 70 %. Слід також зазначити, що китайські фахівці з 2009 по 2013 р. внесли до проєктної документації енергоблока Sanmen-1 понад 18 000 змін.

Шанси підтримувати у суспільстві позитивне ставлення до будівництва нових АЕС є лише тоді, коли ядерна галузь демонструє спроможність гарантувати їх безпечне функціонування, забезпечити високі експлуатаційні показники, підтримувати відкриті відносини з громадськістю та наводити аргументацію, засновану на принципах сталого розвитку. І саме зараз робота НАЕК «Енергоатом» повною мірою відповідає цим критеріям.

Висновки. Ядерна енергетика відіграє важливу роль у забезпеченні енергетичної незалежності України. Тому очевидною є необхідність якнайскорішого запровадження програми будівництва нових ядерних енергоблоків.

Профільні установи НАН України можуть допомогти ядерній енергетичній галузі у розвитку нових ядерних технологій. Слід залучати академічні інститути до робіт, пов'язаних з науково-технічним обґрунтуванням вибору перспективних для будівництва в Україні нових ядерних установок, реалізацією проєкту «Створення українського енергоблока АЕС» та програми будівництва нових ядерних енергоблоків.

Наукові дослідження з розроблення нових ядерних енергетичних технологій мають стати пріоритетним напрямом фундаментальних та прикладних досліджень установ НАН України.

Вибір технології AP1000 як пріоритетної реакторної технології при формуванні стратегії розвитку ядерної енергетики України є прийнятним, але цей вибір має бути підтверджено необхідними процедурами, узгодженнями відповідного ТЕО та іншими заходами, передбаченими чинним законодавством України. При обґрунтуванні рішення щодо вибору AP1000 слід також звернути увагу на досвід Китаю та вже відомі проблемні питання щодо впровадження цієї технології Westinghouse.

Anatolii V. Nosovskyi

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2594-3780>

UKRAINE'S NUCLEAR ENERGY IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Report at the scientific session of the General Meeting of the NAS of Ukraine, February 17, 2022

Nuclear energy plays an important role in ensuring Ukraine's energy independence, thus the need to implement a program of building new nuclear power units is obvious. When formulating the strategy for the development of Ukraine's nuclear energy, the technology of high-capacity light-water reactors AP1000 is an acceptable choice, but it requires a feasibility study and taking of appropriate measures.